

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО – МЕТОДИЧНА

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра «Технології і обладнання зварювального
виробництва»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичного заняття №3
з дисципліни «Технологія та устаткування
зварювання тиском»

на тему:
«Розрахунок параметрів режиму
стикового зварювання»

Тернопіль,
2016

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра «Технології і обладнання зварювального виробництва»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичного заняття №3
з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання тиском»

на тему:
«Розрахунок параметрів режиму
стикового зварювання»

Для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»,
спеціальності 6.050504 «Зварювання»

Тернопіль,
2016

Методичні вказівки розроблено відповідно з навчального плану підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня " бакалавр", спеціальності 6.050504 "Зварювання", а також робочої програми з дисципліни "Технологія та устаткування зварювання тиском"

Укладачі: ст. викладач Береженко Б.М.

асистент Сенчишин В.С.

асистент Король О.І.

Рецензент: д.т.н., професор Попович П.В.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри «Технології і обладнання зварювального виробництва»

Протокол № _____ від "___" _____ 20__ р.

Затвердила та рекомендувала до друку методична комісія ФМТ ТНТУ імені Івана Пулюя, протокол № __ від _____ 20__ р.

ТЕМА: «Розрахунок параметрів режиму стикового зварювання»

1.МЕТА І ЗАВДАННЯ:

1.1 МЕТА: Навчитися розраховувати і підібрати основні параметри режиму стикового зварювання.

1.2 ЗАВДАННЯ:

1.2.1 Ознайомитися з порядком розрахунку основних параметрів процесу стикового зварювання.

1.2.3 Розрахувати в залежності від марки матеріалу і його товщини основні параметри режиму процесу зварювання.

2 ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ.

2.1 Вихідні дані для розрахунку і вибору параметрів режиму стикового зварювання.

До вихідних даних, відносять наступні основні параметри:

- марка зварюваного матеріалу, його хімічний склад, механічні і фізичні властивості;
- геометричні характеристики зварюваних деталей;
- особливості конструкції;
- вимоги до зварної конструкції або з'єднання.

2.2 Підготовка конструкції до зварювання.

Підготовка конструкції до зварювання передбачає конструктивне оформлення деталей та обробку їх зварюваних країв, а також очищення контактних ділянок.

Зварювання опором труб і других складних деталей, які мають жорсткі допуски на виготовлення, деколи вимагають калібрування їх кінців і співпадання радіусів скосу на внутрішній поверхні обох країв. Для зварювання оплавленням можуть бути використані деталі з краями, які стримані шляхом різання на пресі, ножицях, механічній плиті, токарних і

стругальних станках а також після газового і електричного різання з очищенням від шлаку.

Різниця в діаметрах не повинен перевищувати 15% а за товщиною 10%. Максимальний зазор між краями не повинен бути більшим 15% від припуску на оплавлення.

2.3 Параметри режиму стикового зварювання.

В залежності від виробів, які необхідно зварити і вимог до них вибираємо циклограму процесу зварювання (рис. 2.2). При цьому слід враховувати також і технологічні можливості машини.

Зварювання опором

Основні параметри:

- площа поперечного перерізу, $F, \text{мм}^2$;
- установочна довжина, $L_1 + L_2, \text{мм}$;
- зусилля затиску деталей, $P_{\text{зат.}}, \text{Н}$;
- величина струму, $I_{\text{зв.}}, \text{А}$;
- час проходження струму, $t_i, \text{с}$;
- зусилля осадки, $P_{\text{ос}}, \text{Н}$;
- припуск на осадку, $\Delta_{\text{ос.}}, \text{мм}$;

Додаткові параметри:

- швидкість осадки, $V_{\text{ос.}}, \text{мм/с}$;
- час осадки, $t_{\text{ос}}, \text{с}$.

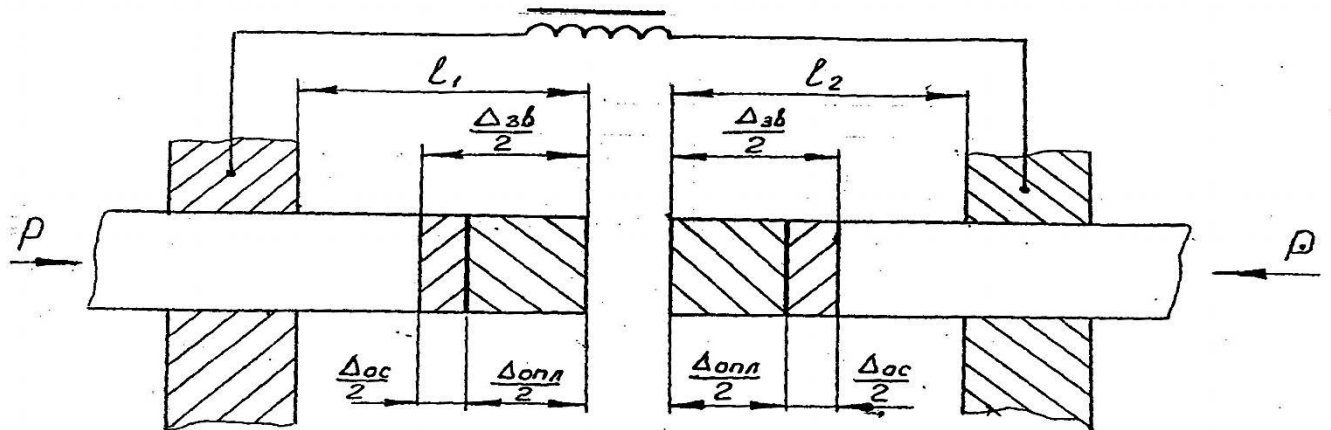
Зварювання оплавленням.

Основні параметри:

- площа поперечного перерізу деталей, $F, \text{мм}^2$;
- установчі довжини, $L_1, L_2, \text{мм}$;
- припуск на осадку, $\Delta_{\text{ос.}}, \text{мм}$;
- припуск на оплавлення, $\Delta_{\text{опл.}}, \text{мм}$;
- припуск на зварювання, $\Delta_{\text{зв}} = \Delta_{\text{опл.}} + \Delta_{\text{ос.}}, \text{мм}$;
- зварювальний струм, $I_{\text{зв.}}, \text{А}$;
- зусилля осадки, $P_{\text{ос}}, \text{Н}$;
- зусилля затискання деталей в губках, $P_{\text{зат.}}, \text{Н}$.

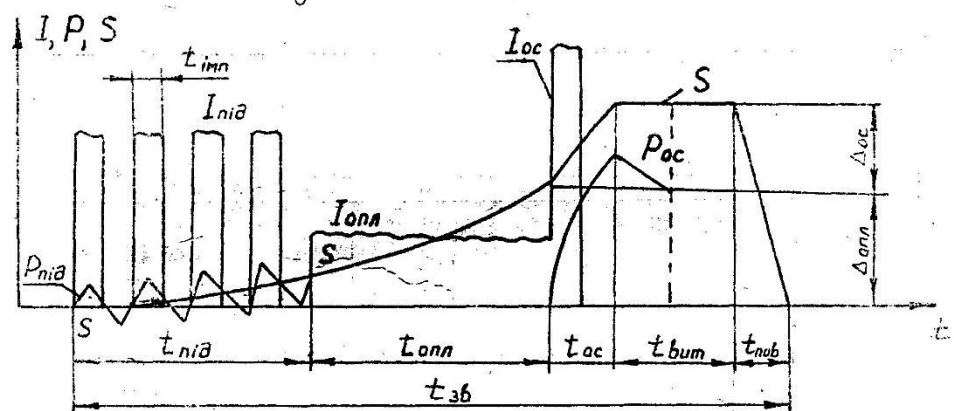
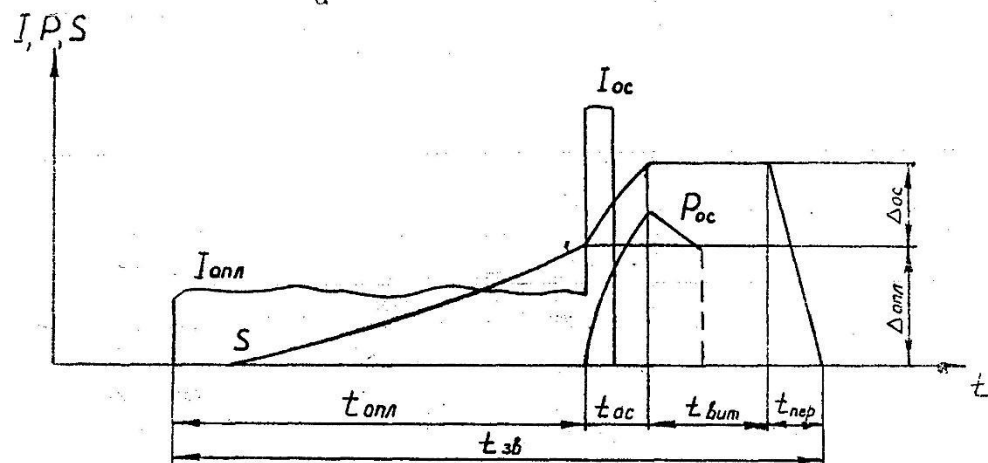
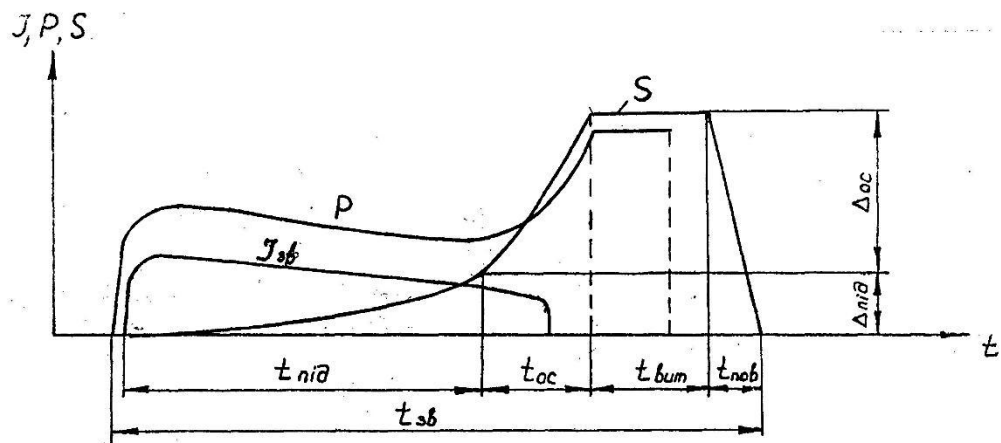
Додаткові параметри:

- час оплавлення, t_{oc} , мм/с;
- час зварювання, $t_{зв.} = t_{опл.} + t_{oc.}$, с;
- швидкість осадки, $V_{oc.}$, мм/с;
- швидкість оплавлення, $V_{опл.}$, мм/с;
- час осадки, t_{oc} , с;
- густина зварювального струму, j , А/мм².



l_1, l_2 - установочна довжина; \square_{oc} - припуск на осадку; $\square_{опл}$ - припуск на оплавлення; $\square_{зв}$ - припуск на зварювання.

Рисунок 2.1 – Схема процесу стикового зварювання



а – зварювання опором; б – зварювання оплавлення; в – зварювання оплавлення з підігрівом. I_{36} - струм зварювання; P - зусилля стику; S - переміщення рухомого затискача; I_{onn} - струм оплавлення; I_{oc} - струм осадки; P_{oc} - зусилля осадки; t_{nid} - час підігріву; t_{inn} - час імпульсу підігріву; t_{36} - час зварювання; t_{oc} - час осадки; t_{bum} - час витримки; P_{nid} - зусилля стискання в момент підігріву; \square_{onn} \square_{oc} - величина оплавлення і величина осадки.

Рисунок 2.2 – Циклограми процесу стикового зварювання

Зварювання оплавленням з підігрівом:

Основні параметри:

- площа поперечного перерізу, $F, \text{мм}^2$,
- установчі довжини, $L_1, L_2, \text{мм}$;
- припуск на оплавлення, $\Delta_{\text{опл.}}, \text{мм}$;
- припуск на осадку, $\Delta_{\text{ос.}}, \text{мм}$;
- зварювальний струм, $I_{\text{зв.}}, \text{А}$;
- температура підігріву, $T, \text{К}$;
- зусилля осадки, $P_{\text{ос.}}, \text{Н}$;
- зусилля затискання деталей в губках, $P_{\text{зат.}}, \text{Н}$.

Додаткові параметри:

- час підігріву, $t_{\text{під}}, \text{с}$;
- час оплавлення, $t_{\text{ос.}}, \text{мм/с}$;
- час осадки, $t_{\text{ос.}}, \text{с}$;
- час зварювання, $t_{\text{зв.}} = t_{\text{опл.}} + t_{\text{ос.}}, \text{с}$;
- швидкість осадки, $V_{\text{ос.}}, \text{мм/с}$;
- швидкість оплавлення, $V_{\text{опл.}}, \text{мм/с}$.

3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ.

3.1 Визначення установочної довжини:

Установочна довжина вибирається виходячи із забезпечення стійкості зварюваних деталей і можна визначити за формулою:

- для круглого перерізу і квадрату

$$L_1 + L_2 = (0,75 \div 1)d; \quad (3.1)$$

- для прямокутного перерізу

$$L_1 + L_2 = (4 \div 5)\delta; \quad (3.2)$$

- для вуглецевих сталей

$$L_1 + L_2 = 1,2 \bar{F}; \quad (3.3)$$

- для легованих сталей

$$L_1 + L_2 = 1,1 \bar{F}; \quad (3.4)$$

де: L_1, L_2 – установочні довжини першої і другої деталі, мм;

δ – товщина деталі, мм;

d – діаметр деталі або деталей, мм;

F – площа поперечного перерізу деталей, мм^2 .

3.2 Розрахунок зусилля осадки.

Задовільне зварювання деталей нагрітих до $T=1200^\circ$, можлива при питомому тиску осадки $p=15\div 30$ МПа. При зварюванні на машинах з ручним приводом осадки процес спочатку ведеться з дещо меншим питомим тиском $p=10\div 15$ МПа.

Зусилля осадки можна визначити за формулою:

$$P_{\text{ос.}} = p F \quad (3.5)$$

де: $P_{\text{ос.}}$ – зусилля осадки, Н;

p – питомий тиск, МПа;

F – площа поперечного перерізу, м^2 .

Визначаємо величину зусилля, яке необхідне для затискування деталей за формулою:

$$P_{\text{зат.}} = K_{\text{зат}} P_{\text{ос}} \quad (3.6)$$

де: $K_{\text{зат.}}$ – коефіцієнт затискання (табл.3.1)

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнта затискання

№ п/п	Зварювані зразки	$K_{\text{зат}}$
1	Труби і прутки з маловуглецевої сталі	1,5-2,0
2	Прутки з хромонікелевих сталей	2,2-3,0
3	Діловий прокат	2,3-3,2
4	Алюмінієвий прокат	2,8
5	Алюмінієвий прокат (губки з насічкою)	0,8-1,0

3.3 Розрахунок величини зварювального струму.

Для здійснення зварювання опором необхідно нагріти деталі в стику до температури $T=0,8-0,9T_{\text{пл}}$.

Нагрів здійснюється за рахунок тепла, що виділяються в самих деталях і в зоні стику:

$$T=T_1+T_2; \quad (3.7)$$

де: T_1 – температура нагріву деталей безпосередньо теплом, яке виділяється в них;

T_2 – температура нагріву за рахунок тепла, що виділяється безпосередньо в стику.

Виходячи з теплового балансу визначаємо температури нагріву деталей перед початком осадки:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (3.8)$$

$$Q = Q_d + Q_k \quad (3.9)$$

Виходячи з цих рівнянь можна записати:

$$Q_d = Q_1; Q_k = Q_2 \quad (3.10)$$

де: Q – загальна кількість тепла, яка виділяється в деталях при зварюванні;

Q_d – тепло, яке виділяється при проходженні струму через самі деталі;

Q_1 – тепло яке затрачається на нагрів деталей до температури T_1 ;

Q_k – тепло, що виділяється при проходженні струму через контактну поверхню;

Q_2 – тепло, що затрачається на нагрів зони стику до температури T_2 ;

Q_3 – кількість тепла, що затрачається на нагрів губок;

Q_4 – кількість тепла, що випромінюється в навколишнє середовище.

Приймемо, що:

$$Q_3 = 0; Q_4 = 0; \quad (3.11)$$

Температуру нагріву T_1 визначаємо із формули:

$$Q_d = I_{3B}^2 K_2 \rho_t \frac{L_1 + L_2}{F} t_{3B} \quad (3.12)$$

$$Q_1 = c \gamma F (L_1 + L_2) T_1 \quad (3.13)$$

Звідси:

$$T_1 = \frac{I_{3B}^2 K_2 \rho_t t_{3B}}{F^2 c \gamma} \quad (3.14)$$

Температурний нагрів в зоні стику T_2 визначаємо із формули:

$$Q_k = m_1 I_{3B}^2 R_k t_{3B} \quad (3.15)$$

$$Q_2 = F \frac{\pi \gamma c \lambda}{t_{3B}} T_2; \quad (3.16)$$

$$m_1 I_{3B}^2 R_K t_{3B} = F \frac{\pi \gamma c \lambda}{t_{3B}} T_2 \quad (3.17)$$

$$T_2 = \frac{m_1 I_{3B}^2 R_K \bar{t}}{F_c \pi \gamma c \lambda} \quad (3.18)$$

Кінцева температура при стиковому зварюванні опором визначається за формулою:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{\rho_t I_{3B}^2 t_{3B} K_2}{F^2 c \gamma} + \frac{m_1 I_{3B}^2 R_K \bar{t}}{F_c \pi \gamma c \lambda}; \quad (3.19)$$

Прийнявши $T=0,8-0,9 T_{пл}$ визначаємо величину струму, необхідного для нагріву стику до вказаної температури:

$$I_{3B} = \frac{(0,8 \div 0,9) T_{пл}}{\frac{\rho_t t_{3B} K_2}{F^2 c \gamma} + \frac{m_1 R_K \bar{t}}{F \pi \gamma c \lambda}}; \quad (3.20)$$

де: I_{3B} – величина зварювального струму, А;

$T_{пл}$ – температура плавлення металу, К;

ρ_t – середній питомий опір, Ом;

t_{3B} – час нагріву, с;

c – теплоємність, Дж/кг К°;

γ – густина, кг/м³;

F_{cp} – середня площа поперечного перерізу деталі, мм², ($F_{cp} = (F_1 + F_2)/2$);

K_2 – коефіцієнт втрат, (для конструктивних сталей – $K_2=0,75$, для аустенітних сталей $K_2=1,9$);

λ – коефіцієнт теплопровідності, Дж/м с К°;

m_1 – коефіцієнт, що враховує зміну контактного опору в процесі нагріву стику ($m_1=0,4$);

R_K – контактний опір на початку зварювання, Ом;

При зварюванні опором середнє значення питомого опору ρ_t може бути прийнятим:

- для вуглецевих, низько- і середньо легованих сталей – $48 \cdot 10^{-8}$ Ом м;
- для високолегованих сталей – $96 \cdot 10^{-8}$ Ом м.

Величина R_K визначається за формулою:

$$R_K = r_K / p^a \quad (3.21)$$

де: R_k – контактний опір, Ом;

P – зусилля, яке діє в контакті, Н;

r_k – одиничний контактний опір при зусиллі $P=10$ Н (табл.3.2)

a – показник степені (табл.3.2)

Таблиця 3.2 – Величина одиничного контакту r_k і показник степені a

Матеріал	a	r_k , Ом
Вуглецеві сталі, низько- і середньо легованих сталі	0,55-0,70	0,005-0,006
Високолеговані сталі	0,70-0,75	0,005-0,006
Алюміній і його сплави	0,75-0,85	0,001-0,02

При густині струму 25-100 А/мм² визначаємо час зварювання виходячи з формули:

$$t_{зв} = 10000/j^2 \quad (3.22)$$

де: j – густина струму, А/мм²;

Густину струму вибираємо в залежності від площі поперечного перерізу із таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Густина струму при зварюванні опором стержнів із вуглецевих сталей

$F, \text{мм}^2$	$J, \text{А/мм}^2$	$F, \text{мм}^2$	$J, \text{А/мм}^2$
25	200	250	90
50	160	500	60
100	140	1000	40

Припуск на осадку Δ_{oc} вибирається виходячи із матеріалу зварюваних деталей і їх площі поперечного перерізу (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Величина припуску на осадку в залежності від марки матеріалу і площі поперечного перерізу

№ з/п	Матеріал	Площа поперечного перерізу, мм ²	Припуск на осадку, Δ_{oc} , мм
1	Мало-, середньовуглецеві і низьколеговані сталі	25-100 100-750 500-1000	0,8-1 1-2,5 20-2,5
2	Високовуглецеві, середньолеговані сталі	25-100 100-500 500-1000	0,6-1,0 1,0-2,5 2,5-3,0
3	Високолеговані сталі	<500	1,5-2,0
4	Кольорові метали і сплави	<500	0,4-2,5

Загальна величина осадки визначається за формулою:

$$\Delta_{oc} = \Delta_{oc1} + \Delta_{oc2} \quad (3.23)$$

де: Δ_{oc1} – припуск на осадку першої деталі, мм;

Δ_{oc2} - припуск на осадку другої деталі, мм.

Визначаємо величину зусилля осадки за формулою:

$$P_{oc} = PF \quad (3.24)$$

де: P – питомий тиск, МПа

F – площа поперечного перерізу зварюваних деталей, мм²

В залежності від зварювальних матеріалів і перерізу питомий тиск вибираємо з таблиці 3.5

Таблиця 3.5 – Питомий тиск різних матеріалів при зварюванні опором.

Матеріали	Питомий тиск, МПа
Низьколеговані, мало і середньовуглецеві сталі	10-20
Високо вуглецеві, середньо леговані сталі	30-50
Високо леговані сталі	50-100
Кольорові метали і сплави	3-15

Після вибору і розрахунку параметрів режиму складається таблиця, де приводяться всі параметри, які необхідні для реалізації процесу.

4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ.

4.1 Розрахунок установочної довжини, припусків на оплавлення, осадку і зусилля осадки.

Установочну довжину визначають за формулами:

- для круглого перерізу і квадрату

$$L_1 + L_2 = (0,75 \div 1)d \quad (4.1)$$

- для прямокутного перерізу з товщиною δ

$$L_1 + L_2 = (4 \div 5)\delta \quad (4.2)$$

- для труб

$$L_1 + L_2 = (0,5 \div 1)D_4 \quad (4.3)$$

Припуск на зварювання вибирають в залежності від площі поперечного перерізу деталей (табл.4.1)

Таблиця 4.1 – Значення припуску на зварювання в залежності від площі поперечного перерізу деталей

$F \cdot 10^{-6},$ m^2	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
$\Delta_{зв} \cdot 10^{-3},$ m	17- 18	19-21	24- 26	27- 29	30- 32	33- 35	37-39	40- 42

Припуск на зварювання складається:

$$\Delta_{зв} = \Delta_{опл} + \Delta_{ос} \quad (4.4)$$

де: $\Delta_{опл}$ – припуск на оплавлення, мм;

$\Delta_{ос}$ – припуск на осадку, мм.

Припуск на оплавлення і осадку визначаються за наступними формулами:

$$\Delta_{опл} = (0,7 \div 0,8) \Delta_{зв}, \quad (4.5)$$

$$\Delta_{ос} = (0,2 \div 0,3) \Delta_{зв}. \quad (4.6)$$

У випадку здійснення осадки під струмом, припуск буде визначатись:

$$\Delta_{\text{ос ст.}} = (0,5 \div 1,0) \Delta_{\text{ос}} \quad (4.7)$$

Швидкість оплавлення залежить від перерізу деталей, марки матеріалу і зростає від нуля до 6-8 мм/с. Середня швидкість оплавлення приведена в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Швидкість оплавлення різних матеріалів при зварюванні неперервним оплавленням

№ з/п	Матеріали	Швидкість оплавлення $V_{\text{оп}}$, 10^{-3} м/с
1	Мало і середньовуглецеві сталі	2 - 5
2	Високо вуглецеві, низько і середньо леговані сталі	4 - 5
3	Високолеговані сталі	5 - 7
4	Легкі сплави	10 - 20

Початкова швидкість осадки $V_{\text{ос}}$ повинна бути не нижче певної границі, яка росте із збільшенням схильності металу до окислення (табл.4.3)

Таблиця 4.3 – Початкова швидкість осадки

№ з/п	Матеріали	Швидкість осадки, $V_{\text{ос}}$, 10^{-3} м/с
1	Маловуглецеві сталі	Не менше 40
2	Середньовуглецеві і низьколеговані сталі	40 - 50
3	Високовуглецеві і середньолеговані сталі	40 - 50
4	Високолеговані нержавіючі сталі	30 - 50
5	Алюміній і його сплави	60 - 80

Час оплавлення і осадки визначається за формулою:

$$t_{\text{опл.}} = \Delta_{\text{ос}} / V_{\text{опл.}}; t_{\text{ос.}} = \Delta_{\text{ос}} / V_{\text{ос}} \quad (4.8)$$

час зварювання визначається:

$$t_{\text{зв}} = t_{\text{опл.}} + t_{\text{ос.}}; \quad (4.9)$$

припуски можна визначити за формулами:

- на осадку

$$\Delta_{\text{ос}} = (0,2-0,3) \Delta_{\text{зв}} \quad (4.10)$$

- на оплавлення:

$$\Delta_{\text{опл.}} = (0,7-0,8) \Delta_{\text{зв}} \quad (4.11)$$

Зусилля осадки ($P_{\text{ос}}$), яке визначає якість з'єднання і залежить від степені нагріву деталей і її швидкості, орієнтовно вибирається в залежності від марки зварюваного матеріалу і площі поперечного перерізу.

Зусилля осадки визначається за формулою:

$$P_{\text{ос}} = pF \quad (4.12)$$

де: p – питоме зусилля осадки, МПа

F – площа поперечного перерізу зварюваних деталей, м^2 .

Величина питомого зусилля осадки вибирається в залежності від марки матеріалу і перерізу зварювальних деталей (табл.4.4)

Таблиця 4.4 – Орієнтовне питоме зусилля осадки при зварюванні різних матеріалів

№ з/п	Матеріали	Питомий тиск, МПа	
		Непер. опл.	Опл. з підігр.
1	Маловуглецеві сталі	20 - 50	20 - 40
2	Середньовуглецеві сталі	30 - 60	20 - 40
3	Високівуглецеві сталі	70 - 100	40 - 60
4	Низьколеговані сталі	100 - 110	40 - 60
5	Середньолеговані сталі	100-120	40 - 60
6	Високілеговані сталі	100 - 180	60-120
7	Мідь і її сплави	140 - 180	-
8	Титан	30 - 60	30 - 40
9	Алюміній і його сплави	120 - 200	-

Зусилля, яке необхідно для затискування деталей, визначається за формулою:

$$P_{\text{зат.}} = \frac{P_{\text{ос}}}{f_1 + f_2} \quad (4.13)$$

де: f_1, f_2 – коефіцієнт тертя для губок ($f_1=0,25$; $f_2=0,30$)

Зусилля $P_{\text{зат}}$ можна також визначити за іншою формулою:

$$P_{\text{зат.}} = K_{\text{зат.}} P_{\text{ос}} \quad (4.14)$$

де: $K_{\text{зат.}}$ – коефіцієнт затискання(табл.4.5)

Таблиця 4.5 – Значення коефіцієнта затискання

№ з/п	Зварювані зразки	$K_{\text{зат.}}$
1	Труби і прутки з маловуглецевої сталі	1,5-2,0
2	Прутки з хромонікелевих сталей	2,2-3,0
3	Діловий прокат	2,3-3,2
4	Алюмінієвий прокат	2,7
5	Алюмінієвий прокат, якщо на губках є насічка	0,8-1,0

4.2 Розрахунок струму зварювання

Зварювальний струм визначають із рівняння теплової потужності, яка виділяється на краях деталей при оплавленні

$$Q_{\text{опл}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (4.15)$$

де: $Q_{\text{опл}}$ – кількість тепла, яке виділяється в стику;

Q_1 - кількість тепла, яке виділяється для розплавлення перемичок;

Q_2 - кількість тепла, яке виділяється на нагрів деталей в зоні стику;

Q_3 - кількість тепла, яке поширюється в деталі.

Визначаємо Q_1 за формулою:

$$Q_1 = K V_{\text{опл}} F \gamma (T_{\text{опл}} - T_1) \quad (4.16)$$

де: K – коефіцієнт, який враховує викид металу у вигляді капель, $K=0,7$

$V_{\text{опл}}$ – швидкість оплавлення, м/с;

F - площа поперечного перерізу зварюваних деталей, м^2 ;

C – питома теплоємність, Дж/кг ;

γ – густина, кг/м^3 ;

$T_{\text{опл}}$ – температура в місті оплавлення, $T_{\text{опл}} = 2270^\circ\text{K}$;

T_1 - початкова температура в момент контакту, $^\circ\text{K}$:

$$T_1 = \frac{T_{\text{кім}} + T_{\text{опл}}}{2} \quad (4.17)$$

Кількість тепла Q_2 визначаємо за формулою:

$$Q_2 = m_0 V_{\text{опл}} F c \gamma \frac{T_{\text{пл}} + T_{\text{під}}}{T_{\text{пл}}} \quad (4.18)$$

де: m_0 – питома скрита теплота плавлення, Дж/кг ;

$T_{\text{під}}$ – температура попереднього підігріву, $^\circ\text{K}$;

$T_{\text{пл}}$ – температура плавлення металу, $^\circ\text{K}$.

Величину Q_3 визначаємо за формулою:

$$Q_3 = 2\lambda F dt/dx \quad (4.19)$$

де: λ – коефіцієнт теплопровідності, $\text{Дж/м} \cdot \text{с} \cdot \text{K}$

dt/dx – градієнт температур, $^\circ\text{K/м}$.

Зварювальний струм визначається із рівняння теплової потужності, яка виділяється на краях деталей при оплавленні:

$$I_{\text{д}} = \frac{\overline{Q_{\text{опл}}}}{R_{\text{опл}}} \quad (4.20)$$

де: $R_{\text{опл}}$ – опір зони оплавлення, Ом ;

$I_{\text{д}}$ – діюче значення струму, А .

Для умов встановленого, неперервного і інтенсивного процесів $R_{\text{опл}}$ визначається за формулою:

$$R_{\text{опл}} = V_{\text{опл}} \gamma c T_{\text{опл}} / j^2 F \quad (4.21)$$

Величину $R_{\text{опл}}$ можливо визначити також за формулою:

$$R_{\text{опл}} = K * 9500 / j^3 \sqrt{V_{\text{опл}} F^2} \quad (4.22)$$

де: $R_{\text{опл}}$ – опір контактної поверхні, мкОм ;

K_1 – коефіцієнт, що враховує властивості сталі (вуглецеві, низько і середньолеговані сталі – $K_1=1$, високолеговані $K_1=1,1$);

F – переріз деталі, мм^2 ;

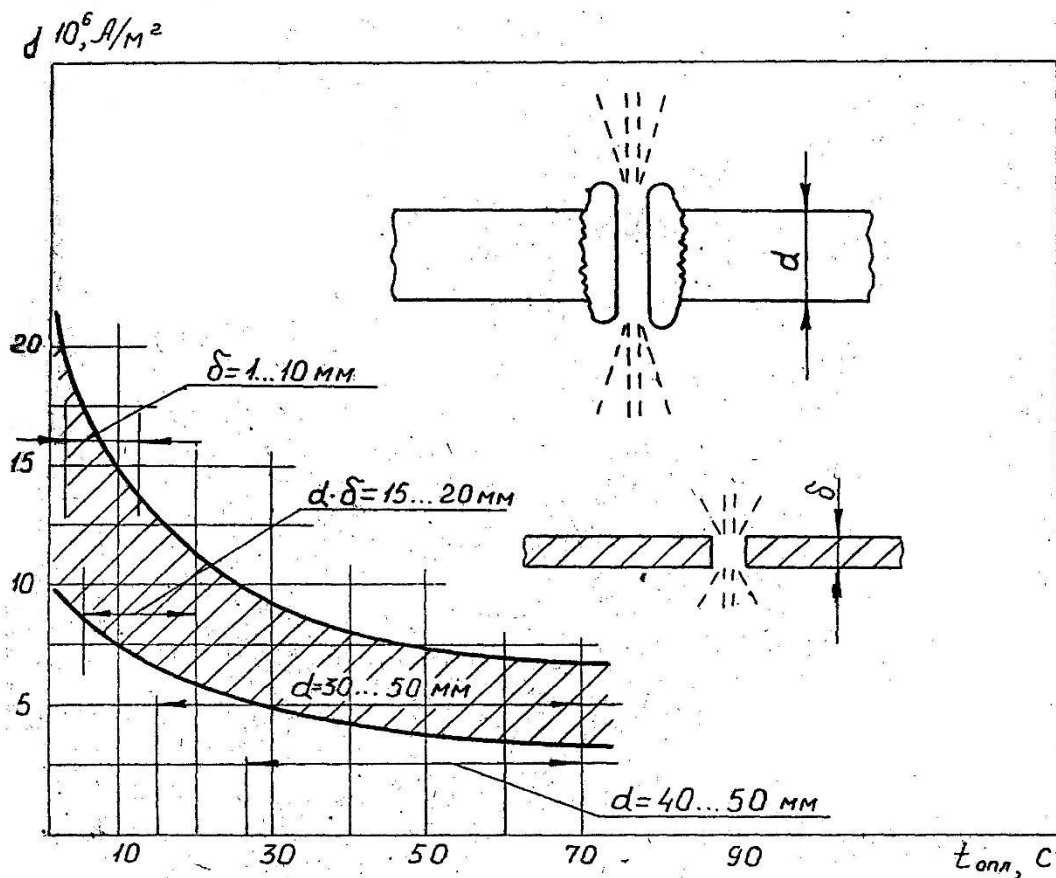
$V_{\text{опл}}$ – швидкість оплавлення, мм/с ;

j – густина струму, А/мм^2

Густина струму і час оплавлення для сталевих деталей визначається із графіка на рисунку 4.1.

Для збудження оплавлення необхідно мати певний запас стійкості, який характеризується відношенням струму короткого замикання до середнього зварювального струму: $I_{кз}/I_d$, його величину визнаємо з формул:

- тонкостінні вироби $I_{кз}/I_d \geq 2,5 \div 3$
- компактні $I_{кз}/I_d \geq 5$



δ - товщина пластини; d - діаметр стержнів; j - густина струму; $t_{опл}$ - час оплавлення.

Рисунок 4.1 – Рекомендовані значення густини струму і часу оплавлення

5 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ З ПІДІГРІВОМ.

5.1 Розрахунок параметрів режиму зварювання

Установочну довжину визначають за формулою:

- для круглого перерізу, діаметром d і квадрата:

$$L_1 + L_2 = (0,75 \div 1)d \quad (5.1)$$

- для прямокутного перерізу (зварювання смуг металу)

$$L_1 + L_2 = (4 \div 5)\delta \quad (5.2)$$

- для труб з зовнішнім діаметром D_H

$$L_1 + L_2 = (0,5 \div 1)D_H \quad (5.3)$$

Припуск на зварювання вибирають в залежності від площі поперечного перерізу деталей (табл.4.1)

$$\Delta_{зв} = \Delta_{під} + \Delta_{опл} + \Delta_{ос} \quad (5.4)$$

де: $\Delta_{зв}$ – припуск на зварювання оплавлення з підігрівом, м;

$\Delta_{під}$ – припуск на підігрів, м;

$\Delta_{опл}$ – припуск на оплавлення, м;

$\Delta_{ос}$ – припуск на осадку, м.

Осадка може приводитись під струмом і без нього, тобто:

$$\Delta_{ос} = \Delta_{ос. ст.} + \Delta'_{ос} \quad (5.5)$$

де: $\Delta_{ос. ст.}$ – припуск на осадку під струмом, м;

$\Delta_{ос}$ – припуск на осадку без струму, м.

Визначаємо компоненти осадки:

$$\Delta'_{зв} = (0,3 \div 0,5) \Delta_{зв} \quad (5.6)$$

Де: $\Delta_{зв}$ – припуск на зварювання оплавленням, м:

$$\Delta_{під} = (0,1 \div 0,2) \Delta'_{зв} \quad (5.7)$$

$$\Delta_{опл} = (0,6 \div 0,7) \Delta'_{зв} \quad (5.8)$$

$$\Delta_{ос} = (0,2 \div 0,3) \Delta'_{зв} \quad (5.9)$$

$$\Delta_{ос. ст.} = (0,5 \div 1,0) \Delta_{ос} \quad (5.10)$$

Зусилля осадки і затиску деталей визначаємо аналогічно, як для зварювання неперервним оплавленням.

Визначаємо швидкість підігріву, оплавлення і осадки. Величина цих параметрів залежить від густини струму, марки сталі, ступені підігріву.

Швидкість підігріву, а значить і час підігріву визначається експериментально в залежності від температури необхідного підігріву а швидкість оплавлення від інтенсивності і тривалості підігріву та вибирається з таблиць 5.1, 5.2

Таблиця 5.1 – Швидкість оплавлення різних матеріалів

№ з/п	Матеріали	Швидкість оплавлення, $V_{оп}$, 10^{-3} м/с
1	Мало і середньовуглецеві сталі	2,5-3,0
2	Високовуглецеві, низько і середньо леговані сталі	3,0-4,0
3	Високолеговані сталі	3,5-4,5
4	Алюміній і сплави	10 - 20

Таблиця 5.2 – Швидкість осадки при зварюванні оплавленням з підігрівом

№ з/п	Матеріали	Швидкість осадки, $V_{ос}$, 10^{-3} м/с
1	Маловуглецеві сталі	10-15
2	Середньовуглецеві і низьколеговані сталі	10 - 20
3	Високовуглецеві і середньолеговані сталі	10 - 25
4	Високолеговані сталі	30-50
5	Алюміній і його сплави	60-80

Середній час підігріву, оплавлення і осадки визначається за формулами:

$$t_{під} = \frac{\Delta_{під}}{V_{під}}; \quad (5.11)$$

$$t_{ос} = \frac{\Delta_{ос}}{V_{ос}}; \quad (5.12)$$

$$t_{опл} = \frac{\Delta_{опл}}{V_{опл}}; \quad (5.13)$$

Час зварювання визначається:

$$t_{зв} = t_{під} + t_{опл} + t_{ос} \quad (5.14)$$

При зварюванні оплавленням з підігрівом в більшості випадків використовують відносно невеликі густини струму, в наслідок чого тепло, що виділяється безпосередньо в зварюваних деталях при оплавленні має незначні величини. В наслідок чого підігрів повинен бути достатнім для отримання температури :

$$T_d = (0,4 \div 0,8) T_{пл} \quad (5.15)$$

де: T_d – температура нагріву деталей на ділянці, що визначається величиною осадки.

5.2 Розрахунок струму підігріву і оплавлення

Тепловий розрахунок при зварюванні оплавленням з підігрівом проводиться наступним чином:

- визначаємо температуру T_d для деталей:

$$T_d = (0,4 \div 0,8) T_{пл} \quad (5.16)$$

- Визначаємо температуру необхідного підігріву:

$$T_{під} = (0,8 \div 1,0) T_d \quad (5.17)$$

- величина струму визначається за формулою:

$$I_{під} = \frac{\gamma c F^2 T_{під}}{k_3 \rho_t t_{під}} \quad (5.18)$$

де: γ – густина матеріалу;

C – теплопровідність;

F – площа зварюваних деталей;

k_3 - коефіцієнт пропорційності, $k_3=0,7$;

ρ_t = питомий опір при температурі $T_{під}$;

$t_{під}$ – час підігріву.

Струм оплавлення деталей визначається аналогічно, як для зварювання неперервним оплавленням.

6 ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ

Кожному студенту видається індивідуальне завдання, згідно якого студент повинен провести вибір і розрахунок основних параметрів стикового зварювання. Перелік індивідуальних завдань приведено в таблиці 4.1.

Таблиця 6.1 – Індивідуальні завдання

№ з/п	Матеріал деталей		Форма і розміри деталей			
	першої	другої	першої		другої	
			форма	Розмір и, мм.	форма	Розмір и, мм.
1.	Сталь 20	Сталь 20	круг	Ø 10	круг	Ø 10
2.	Сталь 45	Сталь 35	круг	Ø 12	круг	Ø 12
3.	Ст3	Ст3	круг	Ø 18	круг	Ø 18
4.	Ст3	Ст3	квадрат	20	квадрат	14
5.	Ст3	Ст3	квадрат	24	квадрат	20
6.	Ст3	Сталь 35	квадрат	26	квадрат	26
7.	Ст3	Сталь 35	труба	10x2	труба	10x2
8.	Ст3	Сталь 35	труба	24x3	труба	24x3
9.	Ст3	Сталь 45	труба	46x5	труба	46x5
10.	Ст3	Сталь 45	труба	36x4	труба	36x4
11.	22К	22К	прямокутник	5x20	прямокутник	5x20
12.	Сталь 45	22К	прямокутник	8x40	прямокутник	8x40
13.	22К	Сталь 25	прямокутник	10x40	прямокутник	10x40
14.	ОТ4	ОТ4	прямокутник	5x30	прямокутник	5x30
15.	ВТ5	ОТ4	круг	Ø 60	круг	Ø 60
16.	ОТ4	ОТ4	круг	Ø 70	круг	Ø 70
17.	12Х18Н9	12Х18Н9	круг	Ø 80	круг	Ø 80
18.	12Х18Н9	12Х18Н9	квадрат	10	квадрат	10
19.	20К	0Х18Н10Г	квадрат	14	квадрат	14
20.	20К	20К	квадрат	16	квадрат	16

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Орлов Б.Д., Чакаєв А.А., Дмитриєв Ю.В. и др. "Технология и оборудование контактной сварки." - М.: Машиностроение, 1986, 352с.
2. Орлов Б.Д., Чакаєв А.А., Дмитриєв Ю.В. "Технология и оборудование контактной сварки." - М.: Машиностроение, 1975, 536с.
4. Гельман А.С. "Теоретические основы контактной сварки." - М.: Машиностроение, 1962, 90с.
5. Кучук – Яценко С.И. Контактная стыковая сварка оплавлением . – Київ.: Наукова думка , 1992, 236 с.

ЗМІСТ

1	МЕТА І ЗАВДАННЯ.	5
2	ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ.	5
3	РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ.. . . .	9
4	РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ.	15
5	РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ З ПІДІГРІВОМ.. . . .	21
6	ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ.	24
7	РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.	25